

Rentgenové záření

J. Havlín, K. Ďurana, D. Jetel
FJFI ČVUT, Břehová 7, 115 19 Praha 1
Jakub.havlin@centrum.cz

Abstrakt

Rentgenové záření má v současné době rozsáhlé praktické využití nejen v lékařství, ale i v mnoha jiných oborech, a právě proto jsme se rozhodli toto téma přiblížit našim kolegům z fyzikálního semináře včetně názorného experimentu.

Zaměřili jsme se na objasnění základních pojmů z oblasti rentgenového záření, seznámení se s unikátní rentgenovou aparaturou PHYWE, experimentální určení Planckovy konstanty, vykreslení spektra molybdenové anody a „fotografování“ pomocí rentgenu.

1 Úvod

Rentgenové záření bylo objevené roku 1895 Wilhelmem C. Rentgenem [1]. Dělíme ho podle spektra na dva druhy (spojité a čárové). Navíc dopadne-li primární rentgenové záření na nějakou hmotu, vydává tato hmotu sekundární záření.

Rentgenové záření vzniká při dopadu emitovaných elektronů na hmotu (anodu). Většina jejich kinetické energie se však přemění v teplo a jen nepatrný zlomek (asi 0,1%) v rentgenové záření. Nejvíce je zastoupeno záření se spojitým spektrem, jemuž se říká brzdné. Vzniká tak, že magnetické pole prudce letícího elektronu při nárazu na anodu zbrzděním zanikne, čímž dojde k elektromagnetickému rozruchu. Spojité spektrum takto vznikajícího záření končí energií E_{max} .

Podle Planckovy hypotézy je energie záření o frekvenci ν dle [1] rovna:

$$(1) \quad E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

kde h je Planckova konstanta, c je rychlost světla a λ je vlnová délka. Pro stanovení Planckovy konstanty je třeba určit jak vlnovou délku, tak energii záření odpovídajícího této vlnové délce.

Vysoké napětí urychlí elektrony na energii, se kterou dopadnou na anodu. Zde elektrony mohou ztratit celou kinetickou energii produkcí jen jednoho fotonu. To odpovídá konci spojitého spektra brzdného záření. Foton pak bude mít energii (pro napětí v kV vyjádřeno v keV):

$$(2) \quad E = e \cdot U$$

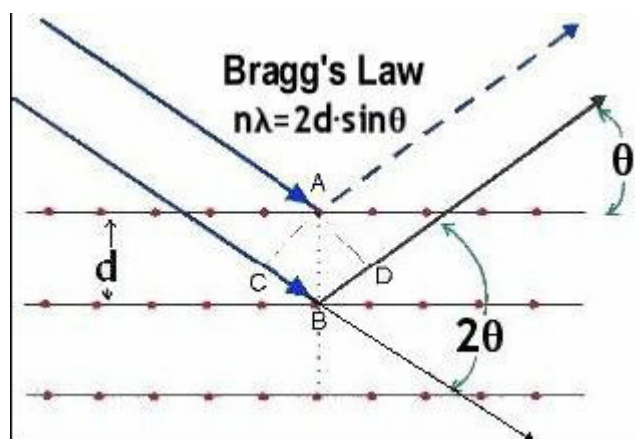
Uřídí-li se krystalovým spektrometrem jeho vlnová délka, bude možno ze vztahu (1) spočítat Planckovu konstantu.

2 Difrakce rentgenového záření

Hranol nebo čočky nelámou a nerozptylují rentgenové paprsky, protože jejich index lomu se blíží k jedné. Při velmi šikmém dopadu se paprsky od látek odrážejí. Mechanická mřížka je pro ně příliš hrubá, proto se pro tento druh záření používají jako mřížky krystaly, jejichž pravidelná struktura vykazuje odpovídající rozměry. Krystalová mřížka je však trojrozměrná, což nám ztěžuje stanovení směrů interferenčních maxim. Existuje ovšem podmínka pro interferenci záření, kterou zformuloval roku 1913 Bragg ve své slavné rovnici dle [1]:

$$(3) \quad n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta,$$

kde n je řád reflexe a θ je poloviční úhel rozptylu (viz obrázek).



3 Experiment

Pro měření Planckovy konstanty jsme použili rentgenové aparatury PHYWE, kde jsme krystal LiF ozařovali rentgenovým zářením a zkoumali jsme úhly rozptylu při konstantním proudu a různých napětích.

Výsledky měření pro $n = 1$ a $d = 201,4 \text{ pm}$ (viz. [1])

$U \text{ [kV]}$	$\theta \text{ [}^\circ\text{]}$	$h \text{ [J.s]}$
12	14,4	$6,42547 \cdot 10^{-34}$
12,5	13,5	$6,28291 \cdot 10^{-34}$
13	12,9	$6,24885 \cdot 10^{-34}$
14	12	$6,26718 \cdot 10^{-34}$
15	11,2	$6,27310 \cdot 10^{-34}$
16	10,1	$6,04133 \cdot 10^{-34}$
17	9,5	$6,04120 \cdot 10^{-34}$
17,5	9,3	$6,08913 \cdot 10^{-34}$
18	8,8	$5,92910 \cdot 10^{-34}$
20	8,2	$6,14190 \cdot 10^{-34}$
22,5	7,2	$6,07175 \cdot 10^{-34}$
průměr		$6,16472 \cdot 10^{-34}$
<i>tabulky</i>		$6,626 \cdot 10^{-34}$

Použitím rovnice (1), (2) a (3) dostáváme vzorec pro určení Planckovy konstanty:

$$h = e \cdot U \cdot 2 \cdot d \cdot \sin\theta / c \cdot n$$

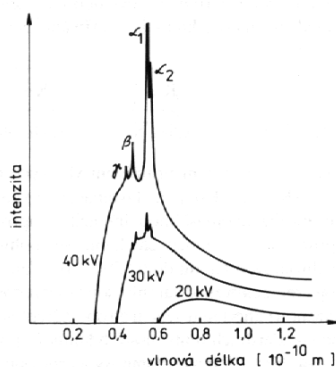
Spektrum molybdenové anody jsme vykreslovali pomocí xy-zapisovače při napětí 22 kV a proudu 0,5 mA.

Jako předměty k fotografování jsme použili šproty a ampérmetr, přičemž dobu expozice jsme odhadli na 3-5 s při napětí 22kV a proudu 1mA. Jejich obraz jsme zachycovali na klasický rentgenový, a také na svitkový fotografický film (citlivost 3200 ISO).

4 Závěr

Výsledkem našeho experimentu bylo stanovení Planckovy konstanty $h = 6,16472 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

Spektrum se nám podařilo vykreslit celkem úspěšně, ale nepodařilo se nám obrázek z xy-zapisovače přenést do elektronické podoby. Nicméně náš výsledek se příliš nelišil od následujícího obrázku, jenž jsme našli na internetu (až na to, že „naše“ spektrum bylo více „rozmazané“):



Fotografování s aparaturou PHYWE se příliš nezdařilo, ale došli jsme k jednomu relativně podstatnému závěru – k fotografování na fotografický film (tak jak to poprvé vyzkoušel Rentgen) je třeba užít materiál velice málo citlivý na světlo a rentgenovým zářením jej ozařovat po dobu několika desítek vteřin až minut, aby byl vliv špatných světelných (respektive temných) podmínek co nejmenší a účinek rentgenového záření co největší.

5 Poděkování

Děkujeme panu asistentovi Svobodovi za poskytnutí finanční prostředků, které přispěly k realizaci našeho pokusu a rovněž za konzultace ohledně ovládání aparatury PHYWE.

Také bychom rádi poděkovali Filipovi Mlynárkovi z nemocnice Na Vinohradech za poskytnuté rentgenové filmy a jejich následné vyvolání.

Reference:

[1] <http://fyzika.fjfi.cvut.cz/index.php?said=19&sbid0=83&sbid1=101&task=001>